

Precision spatial point determination device for measuring machine

Patent Number: DE4345095
Publication date: 1995-06-22
Inventor(s): ZIEGENBEIN RAINER (DE)
Applicant(s): PERTHEN FEINPRUEF GMBH (DE)
Requested Patent: ☒ DE4345095
Application Number: DE19934345095 19931231
Priority Number(s): DE19934345095 19931231
IPC Classification: G01B21/04; G01D3/00
EC Classification: G01B5/00C, G01B5/008
Equivalents:



Abstract

The device uses elongate reference elements extending along each of the machine axes, scanned by adjacent measuring sensors, for determining the path deviation resulting from the movement of each machine carriage along its respective guide. The corresponding measuring signals are fed to a processor, for calculation of position or path coordinates, or setting signals. The reference elements are supported so that they are free from external forces and are coupled together at coupling points, at which the measuring sensors, determining the relative movement are located.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

BEST AVAILABLE COPY

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 43 45 095 C 1

51 Int. Cl.⁸:
G 01 B 21/04
G 01 D 3/00

21 Aktenzeichen: P 43 45 095.4-52
22 Anmeldetag: 31. 12. 83
23 Offenlegungstag: —
46 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 6. 95

DE 43 45 095 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Feinprüf Perthen GmbH Feinmeß- und Prüfgeräte,
37073 Göttingen, DE

74 Vertreter:
Rüger, R., Dr.-Ing.; Barthelt, H., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 73728 Esslingen

72 Erfinder:
Ziegenbein, Rainer, 37124 Rosdorf, DE

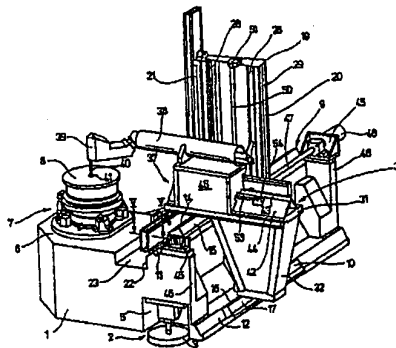
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 43 09 294 A1
DE 35 28 818 A1
DE 31 50 877 A1
GB 8 07 894

Proc. of 18th MTDR Conference 1977, S. 569-576;

54 Vorrichtung zur exakten Bestimmung von Raumpunkten bei einer mehrere Bahnachsen aufweisenden Maschine, insbesondere Meßmaschine

57 Eine Vorrichtung zur exakten Bestimmung von Raumpunkten bei einer mehrere Bahnachsen aufweisenden Maschine, insbesondere einer Meßmaschine, weist ein mehrachsiges Transportsystem für längsbeweglich gelagerte Schlitten und ein entsprechend mehrachsiges Bezugssystem auf, das dem Transportsystem zugeordnet ist. Das Transportsystem ist lediglich zur Aufnahme der bei der Bewegung der Schlitten auftretenden Transport- und Gewichtskräfte ausgelegt, während das Bezugssystem aus Bezugselementen besteht, die im wesentlichen frei von äußeren Kräfteinwirkungen gelagert und an Kopplungsstellen miteinander gekoppelt sind. An diesen Kopplungsstellen sind Meßstaster angeordnet, die zwischen benachbarten Bezugselementen auftretende Relativbewegungen feststellen und für die Größe und Richtung solcher Relativbewegungen kennzeichnende Meßwertsignale erzeugen, die einem Rechner zugeführt und in diesem verarbeitet werden.



DE 43 45 095 C 1

1 Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur exakten Bestimmung von Raumpunkten bei einer mehrere Bahnnachsen aufweisenden Maschine, insbesondere Meßmaschine, die ein Führungssystem mit entsprechend den einzelnen Bahnnachsen ausgerichteten länglichen Führungen und auf diesen längsbeweglich gelagerte Schlitten aufweist, von denen wenigstens einer zur Aufnahme eines längs einer vorbestimmten Bahn im Raum zu bewegenden Teiles eingerichtet ist und wobei einzelnen Bahnnachsen auf sie ausgerichtete längliche Bezugselemente zugeordnet sind, die durch ihnen benachbarte Meßaster abtastbar sind, welche bei der Bewegung des jeweiligen Schlittens längs seiner Führung auftretende Bahnabweichungen von dem zugeordneten Bezugselement feststellen und für die erfaßten Meßwerte kennzeichnende Meßwertsignale in einen Rechner eingeben, der daraus Ortskoordinatensignale erzeugt.

Bei mehreren Bahnnachsen aufweisenden Maschinen, wie etwa Werkzeugmaschinen oder Meßmaschinen, um nur zwei Beispiele zu erwähnen, sind den in der Regel mit den Achsen eines kartesischen Koordinatensystems zusammenfallenden Bahnnachsen Führungen zugeordnet, die konstruktiv in verschiedener Weise ausgebildet sein können und die durchweg eine Doppelfunktion erfüllen müssen. Sie sollen zum einen die beim Transport des hier allgemein als "Schlitten" bezeichneten, geführten Teiles auftretenden Transportkräfte (beispielsweise Reibungs- und Beschleunigungskräfte) einschließlich aller an dem geführten Teil angreifenden äußeren Kräfte (z.Bsp. Gewichte Reaktionskräfte) aufnehmen und zum anderen eine präzise Führung dieses Teiles längs der jeweiligen Bahnachse gewährleisten. Beide Funktionen stellen teilweise entgegengesetzte Forderungen an die konstruktive Gestaltung der Maschine und deren Führungen.

Durch fertigungsbedingte Abweichungen (translatorischer und rotatorischer Art) der Gestalt und der räumlichen Lage der Führungselemente ergeben sich für das geführte Teil Abweichungen von der gewünschten Bahn bzw. Position die die z. Bsp. bei einer Werkzeugmaschine erzielbare Genauigkeit des herzustellenden Werkstückes oder bei einer Meßmaschine der an dem Meßobjekt gewonnenen Meßwerte in teilweise unvorhersehbarer Weise beeinträchtigen. Um diese Abweichungen gering zu halten, ist es erforderlich, die Führungselemente sehr genau zu fertigen, was einen hohen Herstellungsaufwand bedingt. Andererseits werden die Führungselemente aber durch die Transportkräfte und eine Reihe von Störgrößen, wie die bei Werkzeugmaschinen auftretenden Schnittkräfte, durch Schwerpunktsveränderung bei Verlagerung der Belastung des geführten Teiles und Beschleunigungskräfte bei Veränderung der Transportgeschwindigkeit deformiert worunter wiederum die Bahn- oder Positioniergenauigkeit leidet. Um diese Einflüsse wenigstens teilweise auszugleichen, ist ein stabiler Aufbau hoher Steifigkeit des Maschinengestells und der tragenden Teile für die Führungselemente erforderlich, wodurch wiederum die Herstellungskosten erhöht werden.

Weitere Störgrößen für die Bahn- oder Positioniergenauigkeit entstehen durch Änderungen der Umgebungstemperatur. Auftretende Temperaturgradienten bewirken nämlich ebenfalls eine Deformation der Führungselemente und führen damit zu Abweichungen von der Sollbahn bzw. Position. Diese Störgrößen lassen sich konstruktiv nicht vollkommen kompensieren und

müssen häufig als die Anwendbarkeit der Maschine einschränkende Größen akzeptiert werden oder es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um solche Temperaturänderungen zu vermeiden.

Aus der GB-PS 807 994 ist eine mehrachsige Werkzeugmaschine in Ständerbauweise bekannt, bei der auf dem Maschinenbett ein das Werkstück tragender Schlitten in einer ersten Richtung (X) in einer entsprechenden Führung verschieblich gelagert ist, während an einem mit dem Maschinenbett Führung angeordnet ist, die einer Ständer eine weitere Führung zugeordnet ist, längs derer ein zweiter, das Werkzeug tragender Schlitten längsbeweglich ist. Um durch seitliche translatorische Bewegungen und Kipp- oder Drehbewegungen der Schlitten in ihren Führungsbahnen hervorgerufene Bahnabweichungen zu kompensieren, sind besondere Maßnahmen getroffen. Zu diesem Zwecke ist mit dem ersten Schlitten und mit dem Ständer jeweils ein längliches Bezugselement mit einer genauen Bezugsfläche starr verbunden, die mit der jeweiligen Bahnachse ausgerichtet ist und die von Meßastern abgetastet wird, welche an dem Maschinenbett bzw. an dem zweiten Schlitten angeordnet sind. Diese räumlich verteilt angeordneten Meßaster messen jeweils den Abstand der geführten Teile, d. h. der Schlitten zu der Bezugsfläche des zugeordneten Bezugselementes; sie geben Meßwertsignale ab, die für den festgestellten Versatz des geführten Teiles gegenüber seiner idealen Bahn kennzeichnend sind. In einem Rechner werden die Meßwertsignale zu Korrektursignalen für die den beiden Schlitten zugeordneten Stellantriebe verarbeitet. Die Stellantriebe korrigieren die Lage der Schlitten in den Führungen so, daß das Werkzeug wieder in die exakte Lage relativ zu dem Werkstück zurückgeführt wird.

Die erzielbare Genauigkeit der Bahnkorrektur hängt u. a. bei dieser Maschine von der Steifigkeit des Auslegers und des Maschinenbettes ab. Beispielsweise von den Schnittkräften herrührende elastische Verformungen des Auslegers können in ihrer Auswirkung auf die erzielbare Bearbeitungsgenauigkeit nicht kompensiert werden. Auch führen elastische Verformungen des ersten Schlittens oder der Führungselemente des zweiten Schlittens zu Verformungen der mit diesen Teilen verbundenen balkenartigen Bezugselemente, mit der Folge, daß der Genauigkeit der Bestimmung der Bahnabweichungen von der Sollbahn Grenzen gesetzt sind.

Bei einer anderen, aus der DE 31 50 977 A1 bekannten Einrichtung zur Ermittlung und Korrektur von Führungsfehlern und zur Kompensierung ihres Einflusses auf die Genauigkeit der Positionsbestimmung von geführten Maschinenteilen ist ein bspw. zum Anbau an die Führungen einer Meß- bzw. Bearbeitungsmaschine geeignetes Meßsystem beschrieben, das aus einem mit Maßstablinien versehenen Tragkörper und einer diesen zugeordneten Leseinrichtung besteht. Auch hier hängt die erzielbare Positioniergenauigkeit von der Steifigkeit des Maschinenbettes und der Maschinenteile ab, auf denen der Tragkörper befestigt ist. Anstelle eines solchen Tragkörpers kann auch bspw. bei einer Meßmaschine in Brückenbauweise eine Führungsfläche der Brücke zur Messung von Kippung und Versatz der Brücke abgetastet werden. Verformungen der Brücke selbst können nicht berücksichtigt werden.

Daneben ist es aus der DE 35 26 919 A1 bekannt, bei einer Meßeinrichtung zur Bestimmung der Positioniergenauigkeit von frei programmierbaren Handhabungsgeräten die Meßsignale von sechs voneinander unab-

hängigen Meßwertaufnehmern aufzuzeichnen, die von dem Handhabungsgerät relativ zu einer Schablone bewegt werden, welche die Idealkontur der gewünschten Bewegung verkörpert. Von diesen Meßwertaufnehmern sind fünf induktive, analoge Abstandsmesser, während der sechste Meßwertaufnehmer ein digitaler Infrarot-Sensor ist.

Mit einer höheren Genauigkeit arbeitet eine in Proc. of 18th MTDA Conf. 1977, Seiten 569 bis 576 beschriebene Einrichtung zur automatischen Feststellung und Kompensation von Bahnfehlern in Führungen von Werkzeugmaschinen, bei der die Bewegungen der geführten Teile kontinuierlich auf die Achsen eines raumfesten kartesischen Koordinatensystems bezogen werden, das durch entsprechende Bezugselemente in Form von Normalen gebildet ist, die unabhängig voneinander und von den Führungsflächen der jeweils zugeordneten Führung angeordnet sind. Die Bezugselemente jeder Führung werden von jeweils fünf Längenmeßtastern abgetastet, die räumlich derart verteilt angeordnet sind, daß die translatorischen und die Kipp-, Dreh- sowie Rollbewegungskomponenten des jeweiligen Schlittens bezüglich der raumfesten Bezugselemente nach Größe und Richtung exakt ermittelt werden. Die von einem Rechner aus den entsprechenden Meßwertsignalen abgeleiteten Korrektursignale werden entweder aufgezeichnet, so daß sie beispielsweise bei einer Meßmaschine zur Meßwertkorrektur verwendet werden können oder zur Steuerung der Stellantriebe der einzelnen Achsen benutzt, derart, daß die Lagefehler kompensiert werden.

Um die Anforderungen an die Formgenauigkeit der Bezugselemente gering zu halten, ist es aus dieser Druckschrift auch bekannt, die Abweichungen der abgetasteten Bezugslinie oder -fläche auf den Bezugselementen von einem Linearitätsnormal vor dem eigentlichen Meßvorgang zu bestimmen und die entsprechenden in dem Rechner gespeicherten Daten bei der Berechnung der Korrektursignale zu berücksichtigen. Mit anderen Worten, vorhandene Abweichungen der Bezugselemente von der Idealform werden über die Software in dem Rechner kompensiert.

Bei dieser Einrichtung muß Sorge getragen werden, daß die Bezugselemente ihre räumliche Ausrichtung auf die Achsen des Koordinatensystems nicht in unvorhersehbarer Weise verändern, weil sonst Meßfehler bei der Feststellung der Bahnabweichungen der geführten Teile auftreten.

Grundsätzlich Ähnliches gilt auch für eine Abweichungsmeß- und Korrektureinrichtung für Werkzeugmaschinen, die aus der DE-OS 43 09 294 bekannt ist und die in Echtzeit arbeitet und Bettbahnabweichungen von einer wahren Geraden relativ zu einem Werkstück korrigiert. Dabei wird ein in Richtung des jeweiligen Werkzeugschlittens-Verfahrensweges vorgespannter Draht als Geradenheitsnormal verwendet.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, bei einer mehrachsigen Meß- oder Fertigungsmaschine der eingangs genannten Art ohne unwirtschaftlich großen konstruktiven Aufwand eine möglichst vollständige Erfassung und Kompensation von auftretenden Führungsfehlern zu erzielen.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist die Maschine die Merkmale des Patentanspruchs 1 auf.

Durch die konsequente Aufteilung des Führungssystems in ein mehrachsiges Transportsystem, das allein die Aufgabe hat, die Transportkräfte aufzunehmen und ein von äußerer Krafteinwirkung im wesentlichen frei-

gehaltenes Bezugssystem, das die Präzision der Führung und deren Lage im Bezug auf andere Achsen sicherstellt, ist eine optimale konstruktive Ausführung der Elemente der beiden Systeme entsprechend ihrer jeweiligen Funktion möglich. Damit lassen sich mit verhältnismäßig geringem konstruktivem Aufwand hochgenaue Meß- und Fertigungsmaschinen herstellen. Das Transportsystem muß nämlich nur noch verminderte Anforderungen bezüglich der Führungseigenschaften erfüllen, d. h. es kann in der Regel ohne Justageelemente steif aufgebaut werden, wobei die zum Einsatz kommenden Lagerelemente in den Führungen kostengünstig ausgeführt werden können.

Das Bezugssystem kann seinerseits mit verhältnismäßig einfachen Mitteln im wesentlichen kräftefrei gelagert, d. h. an den entsprechenden Maschinenteilen aufgehängt werden. Das Material und die Formgestaltung seiner Bezugselemente sind so gewählt, daß die Geometrie des Bezugssystems langzeitstabil und wenig temperaturabhängig ist.

Bei der neuen Maschine sind von den zu Positionsabweichungen führenden Fehlerquellen die Einflüsse dynamischer Fehler, die auf Verformung der jeweiligen Führung durch Beschleunigungs- oder Bearbeitungskräfte zurückzuführen sind sowie thermische Fehler durch zeitliche und räumliche Temperaturunterschiede an den Führungselementen, weitgehend kompensiert. Es ergibt sich deshalb neben den bereits erwähnten günstigen Herstellungskosten auch der Vorteil eines deutlich erweiterten Einsatzbereiches. Hochgenaue Meß- und Fertigungsmaschinen, die bisher nur in klimatisierten Räumen betrieben werden konnten, können nun auch in rauer Fertigungsumgebung bei gleicher oder sogar gesteigerter Präzision arbeiten.

Die Bezugselemente des Bezugssystems sind nicht beliebig, d. h. voneinander unabhängig angeordnet, sondern an Kopplungsstellen so miteinander verkettet, daß jedes Bezugselement mit dem vorhergehenden Bezugselement über mehrere Meßtaster in Eingriff steht. Es werden somit von diesen Meßtastern an den Kopplungsstellen Positionsänderungen der Achsen des Bezugssystems (z.Bsp. durch Einwirkung von Beschleunigungskräften) erfaßt und in dem Rechner bei der Ermittlung der Fehlerkorrektursignale zusammen mit den festgestellten Abweichungen der Schlitten von den einzelnen Achsen des Bezugssystems verarbeitet, so daß sämtliche Störgrößen erfaßt und von dem Rechner als Korrekturwerte bearbeitet werden. Die Führungsqualität des gesamten Führungssystems hängt damit nur noch von der Präzision der einzelnen Bezugselemente ab. Dabei können die Anforderungen an das Bezugssystem bezüglich einer hohen Genauigkeit noch zusätzlich dadurch verringert werden, daß zunächst in einer Kalibriermessung die Bahn des jeweiligen Bezugselementes mit einer idealen Referenzbahn verglichen wird und die festgestellten Abweichungen als Datensatz in dem Rechner gespeichert und sodann bei den zukünftigen Messungen berücksichtigt werden. Die an das einzelne Bezugselement zu stellende Hauptanforderung ist dann nicht die Verkörperung einer idealen Bahn sondern lediglich, daß es über eine hohe Langzeitstabilität und Temperaturunabhängigkeit verfügt.

In einer bevorzugten Ausführungsform tragen die Bezugselemente der einzelnen Bahnachsen des Bezugssystems endseitig starr mit ihnen verbundene Winkелеlemente, an denen die Meßtaster sitzen und die jeweils ein benachbartes Bezugselement an der zugehörigen Kopplungsstelle übergreifend angeordnet sind. Dabei

ist es zweckmäßig, daß an den Kopplungsstellen zum mindesten jeweils fünf Meßtaster räumlich verteilt derart angeordnet sind, daß durch sie alle von der jeweiligen Bahnachse abweichenden Relativbewegungen zwischen den beiden Bezugselementen der Größe und Richtung nach erfaßbar sind.

An den vorzugsweise als Normale in Form von Profilschienen oder Linealen ausgebildeten Bezugselementen sind dabei in der Regel räumlich voneinander getrennte Bezugs- oder Abtastbahnen für die Meßtaster angeordnet. Diese Bezugsbahnen können abhängig von dem Verwendungszweck und dem Aufbau der jeweiligen Maschine entweder eine so präzise Oberfläche aufweisen, daß sie unmittelbar als Linearitätsnormale dienen oder aber sie können, wie bereits erläutert, durch Vergleich mit einem Linearitätsnormal zunächst kalibriert worden sein, so daß die bekannten Abweichungen der Oberfläche der Bezugsbahn in Form entsprechender Daten in dem Rechner gespeichert von diesem bei der Ermittlung der Ortskoordinatensignalswerte berücksichtigt werden können.

Die Bezugselemente sind durchweg an Teilen des Transportsystemes im wesentlichen kräftefrei, zweckmäßigerweise an diskreten Aufhängestellen aufgehängt, derart, daß eine Begrenzung in 6 Freiheitsgraden gegeben ist.

Die konstruktive Gestaltung der Halterung und Lagerung der Bezugselemente an den einzelnen Aufhängestellen ist Gegenstand von weiteren Unteransprüchen ebenso wie andere Weiterbildungen der neuen Maschine.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des Gegenstandes der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine Formmeßmaschine gemäß der Erfindung in einer perspektivischen teilweise schematischen Seitenansicht,

Fig. 2 die Formmeßmaschine nach Fig. 1 in der Draufsicht,

Fig. 3 die Formmeßmaschine nach Fig. 1 in dem Zustand bei abgenommenem Z-Verschiebeschlitzen in einer perspektivischen Darstellung entsprechend Fig. 2,

Fig. 4 das Bezugssystem der Formmeßmaschine nach Fig. 1 in perspektivischer schematischer Darstellung und in einem anderen Maßstab,

Fig. 5 das Basisteil des Z-Verschiebeschlitzen der Formmeßmaschine nach Fig. 1 unter Veranschaulichung der Halterung und Lagerung des R-Bezugsnormals in perspektivischer schematischer Darstellung und in einem anderen Maßstab und

Fig. 6 die seitliche Halterung des Y-Bezugsnormals der Formmeßmaschine nach Fig. 1 in einer Schnittdarstellung entsprechend der Linie VI-VI der Fig. 1 in einer Draufsicht und in einem anderen Maßstab.

Die Erfindung wird im folgenden anhand einer entsprechend ausgebildeten mehrachsigen Formmeßmaschine erläutert, deren Bahnachsen mit Y, Z und R bezeichnet sowie in Fig. 4 angedeutet sind. Die Wahl dieses Ausführungsbeispiels bedeutet jedoch keine Beschränkung der Erfindung; diese ist vielmehr für die verschiedenartigsten Meß-, Fertigungs- und Handhabungsmaschinen anwendbar, bei denen es darauf ankommt, Lagefehler der geführten Teile in den einzelnen Bahnachsen zugeordneten Führungen festzustellen und entweder unmittelbar mechanisch durch Beeinflussung der Stellantriebe der geführten Teile oder rechnerisch bei der Bestimmung der Ortskoordinaten eines Meßpunktes oder eines auf einer vorbestimmten Bahn geführten Werkzeuges und/oder Werkstückes zu be-

rücksichtigen. Demgemäß ist unter dem Begriff "Schlitten", wie er im Rahmen der vorliegenden Beschreibung und Patentansprüche verwendet wird, allgemein ein in einer Führung zwangsgeführt bewegliches Teil zu verstehen, das abhängig von dem Aufbau und dem Einsatzzweck der jeweiligen Maschine eine unterschiedliche konstruktive Gestaltung, bspw. in Form eines Tisches, eines Wagens, einer Verschiebemuffe und dergleichen aufweisen kann. Auch die Konstruktion der Führung selbst ist im Rahmen der Erfindung keinen Beschränkungen unterworfen. Sie kann als Schiebe- oder Wälzkörperführung mit ebenen oder gekrümmten Führungsf lächen, bspw. in Gestalt von Führungseisen oder Führungsstangen gestaltet sein. Ebenso können alle zweckentsprechenden Werkstoffe sowohl für den Aufbau der Schlitten als auch der Führungen zum Einsatz kommen.

Die in der Zeichnung dargestellte Formmeßmaschine ist in der sogenannten Auslegerbauart konstruiert. Sie weist, wie insbesondere aus den Fig. 1 bis 3 zu ersehen, ein in der Draufsicht im wesentlichen L-förmiges Maschinenbett 1 auf, das in Guß- oder Stahl-Schweißkonstruktion ausgeführt ist. Das Maschinenbett 1 ist gegen den Fußboden über eine elastische Dreipunktlagerung abgestützt, von der eine Auflagerstelle bei 2 in Fig. 1 dargestellt ist. Sie verfügt über einen als Gummimetallteil ausgebildeten Aufstellfuß 3, der über eine Stellschraube 4 höhenverstellbar in einer entsprechenden seitlichen Ausnehmung 5 des Maschinenbettes 1 aufgenommen ist. Auf der horizontalen, ebenen Tischfläche 6 des einen Schenkels des L-förmigen Maschinenbettes 1 ist eine in Gestalt eines Drehtisches 7 ausgebildete Werkstückaufnahme angeordnet, in die im vorliegenden Falle ein zylindrisches Werkstück 8 eingesetzt ist, das von der Formmeßmaschine gerade vermessen werden soll.

An der Rückseite des anderen Schenkels des L-förmigen Maschinenbettes 1 sind zwei parallele, horizontal ausgerichtete Führungsschienen 9, 10 quadratischer Querschnittsgestalt vorgesehen, die in entsprechenden Aufnahmen 11, 12 (Fig. 1, 3) des Maschinenbettes 1 gelagert sind. Die beiden Führungsschienen 9, 10 sind sowohl in Horizontalrichtung als auch in Vertikalrichtung gegeneinander versetzt angeordnet, so daß durch sie an der Rückseite des Maschinenbettes 1 eine in Fig. 3 bei 13 angedeutete schräge Ebene definiert ist, die mit der Horizontalen einen Winkel von wenigstens 20° — hier 60° — einschließt. Generell kann die Neigung des Maschinenbettes zwischen 0° und mehr als 70° betragen.

Jede der beiden aus Stahl hergestellten Führungsschienen 9, 10 trägt zwei ebene nach oben bzw. außen weisende Führungsbahnen 14, 15 bzw. 16, 17, die jeweils einen Winkel von 90° miteinander einschließen und von denen sich, wie beispielsweise Fig. 1 zeigt die Führungsbahnen 14, 15 der etwas oberhalb der Tischfläche 6 liegenden oberen Führungsschiene 9 fast über die gesamte Länge des zugeordneten Schenkels des Maschinenbettes 1 erstrecken. Die Führungsbahnen 16, 17 der unteren in unmittelbarer Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 angeordneten Führungsschiene 10 sind kürzer (vergleiche Fig. 1).

Auf den Führungsbahnen 14, 15 und 16, 17 der beiden Führungseisen 9, 10 ist ein erster Verschiebeschlitzen 18 (Fig. 3) längs einer ersten Bahnachse in der Koordinatenrichtung Y längsverfahrbar gelagert. Der erste Verschiebeschlitzen 18 weist eine im wesentlichen schiefenformige vertikale Säule 19 auf, die mit ihren Breitseiten quer zu der Koordinatenachse Y orientiert angeordnet ist. Die als Hohlkörper dünnwandig aus entsprechenden Leichtmetallteilen zusammengeschweißte Säule

le 19 hat eine im wesentlichen keilförmige Querschnittsgestalt, wobei ihre breitere Stirnseite 20 zur Maschinenbettseite weisend angeordnet ist. Sie ragt bis in die unmittelbare Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 nach unten und übergreift, wie aus Fig. 3 hervorgeht, die Führungsbahn 17 der unteren Führungseiste 10. Anschließend an die hintere Stirnseite 20 ist die Säule 19 unten entsprechend der rückseitigen Kontur des Maschinenbettes gestaltet, während die vordere Stirnwand 21 der Säule 19 etwa mit der Rückwand 22 einer in der Oberseite des rückwärtigen Schenkels des Maschinenbettes 1 parallel zu der oberen Führungsschiene 9 verlaufend eingelassenen rinnenartigen Vertiefung 23 fluchtet.

Auf der dem Drehtisch 7 abgewandten Rückseite ist an die Säule 19 eine horizontal vorkragende Armkonstruktion 24 angeschlossen, die, wie aus Fig. 2 zu sehen, in der Draufsicht eine im wesentlichen dreieckförmige Gestalt aufweist und sich über die gesamte Breite der Säule 19 erstreckt. Sie besteht aus platten- oder rahmenförmigen Konstruktionselementen und ist leichtgewichtig als Gehäuse ausgebildet, das sich mit auf der Ober- und der Unterseite vorgesehenen, im wesentlichen dreieckförmigen Abstützelementen schräg zu dem oberen und dem unteren Säulenende hin erstreckt so daß die Säule 19 auf ihrer Rückseite über ihre gesamte Höhe und Breite abgestützt ist. Die Konstruktionselemente der Armkonstruktion 24 bestehen aus leichtgewichtigem Material, insbesondere aus kohlefaserverstärkten Kunststoffplatten.

Auf den Führungsbahnen 14, 15 und 16, 17 der beiden Führungsleisten 9, 10 ist der erste Verschiebeschlitten 18 an fünf diskreten Lagerstellen gelagert, die räumlich so verteilt angeordnet sind, daß sich einerseits eine große Führungslänge und andererseits eine Fesselung des Verschiebeschlittens 18 in Bezug auf fünf Freiheitsgrade ergibt. Von diesen entsprechenden Gleitlagerelementen enthaltenden Lagerstellen sind jeweils zwei paarweise einander zugeordnete Lagerstellen in dem Bereich 25 (Fig. 3) und 26 (Fig. 2) sowie eine einzelne Lagerstelle bei 27 (Fig. 3) vorgesehen. Unter der Wirkung ihres Gewichtes ruht somit die Säule 19 mit dem ersten Verschiebeschlitten 18 über die Lagerstellen bei 25, 26 auf den Führungsbahnen 14, 15 der oberen Führungsschiene 9, während sie über die Lagerstelle bei 27 an ihrer Unterseite in unmittelbarer Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 lediglich seitlich gegen die Führungsbahn 17 der Führungsschiene 10 abgestützt ist.

An der Säule 19 sind auf der dem Drehtisch 7 zugewandten Vorderseite und der hinteren breiteren Stirnseite 20 jeweils parallele vertikale Führungsschienen 28, 29 angeordnet, die gemeinsam eine Längsführung in der Z-Richtung bilden und auf denen ein zweiter Verschiebeschlitten 30 in Richtung der Z-Koordinatenachse, d. h. vertikal verfahrbar gelagert ist. Der zweite Verschiebeschlitten 30 weist ein im wesentlichen tischartiges horizontales Basisteil 31 auf, an das sich unten ein kastenartiger, in der Seitenansicht im wesentlichen dreieckförmiger Fortsatz 32 (Fig. 1) anschließt, dessen Länge etwa der Höhe des Maschinenbettes 1 oder etwa dem vertikalen Abstand zwischen den beiden Führungsleisten 9, 10 entspricht. An dem Basisteil 31 und am unteren Ende des Fortsatzes 32 sind Gleitlagerelemente angeordnet, die räumlich wiederum derart verteilt angeordnet sind, daß sich eine große Führungslänge und damit eine stabile genaue Führung des zweiten Verschiebeschlittens 30 auf der Säule 19 ergibt. Solche Lagerelemente sind mit ihren Aufnahmebohrungen an der Basisplatte 31 sche-

matisch in Fig. 5 bei 33, 34 angedeutet, während am unteren Ende des Fortsatzes 32 eine in Fig. 1 nicht weiter dargestellte Lagerstelle in der vertikalen Verlängerung der Lagerstelle 34 der Fig. 5 vorhanden ist. Diese Lagerstelle an dem Fortsatz 32 ist ebenso wie die Lagerstelle bei 34 der Führungsschiene 29 auf der breiten Stirnseite der Säule 19 zugeordnet, während die Lagerstellen bei 33 mit den Führungsschienen 28 auf der vorderen Breitseite 21 der Säule 19 zusammenwirken. Aus diesem Grunde sind die Lagerstellen bei 33 etwa im Bereiche der der Säule 19 zugewandten hinteren Begrenzungsfläche 35 (Fig. 5) des Basisteiles 31 angeordnet, während die Lagerstelle bei 34, auf einem von dieser rechtwinklig vorspringenden Lagerarm 36 sitzt, der die breitere Stirnfläche 20 der Säule 19 übergreift (vergleiche Fig. 2).

Ebenso wie der erste Verschiebeschlitten 18 ist auch der zweite Verschiebeschlitten 30 an den jeweils erwähnten Lagerstellen in Bezug auf fünf Freiheitsgrade gefesselt; bezüglich des sechsten Freiheitsgrades erfolgt die Fesselung jeweils durch die Verstelleinrichtung, die im einzelnen noch erläutert werden wird.

Der zweite Verschiebeschlitten 30 trägt seinerseits einen in Richtung der R-Koordinatenachse verschieblich gelagerten dritten Verschiebeschlitten 37, der im wesentlichen gehäuseartig ausgebildet ist und auf welchem ein horizontal ausgerichteter rohrförmiger Ausleger 38 angeordnet ist, der einseitig einen mit 39 bezeichneten Taster hält, welcher mit einem Tastarm 40 die Form der Innenwandung einer Bohrung 41 des Werkstückes 8 abtastet. Die Anordnung und Ausbildung der drei Verschiebeschlitten 18, 30 und 37 sowie der Säule 19 sind derart getroffen, daß der Massenschwerpunkt des aus diesen Teilen, einschließlich des Auslegers 38 bestehenden Systems in einer quer zu den Führungsleisten 9, 10 verlaufenden Vertikalebene in einem Bereich zwischen den beiden Führungsschienen 9, 10 — oder gegebenenfalls bezogen auf Fig. 3 — rechts hinter der unteren Führungsschiene 10 liegt. Die Lage des Massenschwerpunktes hängt etwas von der jeweiligen Stellung, insbesondere des dritten Verschiebeschlittens 37 ab, doch gelangt der Massenschwerpunkt nie in den Bereich vor der oberen Führungsschiene 9 (in Fig. 1 links von derselben), so daß die Säule 19 nicht nach vorne kippen kann.

Auf dem horizontalen Basisteil 31 des zweiten Verschiebeschlittens 30 ist ein nach Art eines im Querschnitt dreieckförmigen Hohlkörpers ausgebildetes Führungsteil 42 befestigt, das ebenso wie die Teile des Fortsatzes 32 und gegebenenfalls das Basisteil 31 aus Platten eines kohlefaserverstärkten Kunststoffes hergestellt ist. Der zweite Verschiebeschlitten 30 ist deshalb insgesamt ebenfalls leichtgewichtig konstruiert, um seine träge Masse auf ein Minimum zu reduzieren.

Das Führungsteil 42 trägt im Bereiche seiner oberen Kante zwei benachbarte horizontale leistenförmige Führungsbahnen 43 (vergleiche Fig. 1, 5), die in Ebenen liegen, welche einen Winkel von 90° miteinander einschließen. Außerdem ist auf der der Säule 19 abgewandten Seite auf dem Führungsteil 42 in unmittelbarer Nähe des Basisteiles 31 eine dritte horizontale Führungsbahn 44 (Fig. 5) vorgesehen. Auf diesen Führungsbahnen 43, 44 ist der dritte Verschiebeschlitten 37 in der R-Richtung verschieblich gelagert. Er weist, wie bereits erwähnt, ein aus leichtgewichtigem Material, vorzugsweise dünnen kohlefaserverstärkten Kunststoffplatten bestehendes, etwa quaderförmiges Gehäuse 45 auf, das den Ausleger 38 trägt und sich auf die Führungsbahnen

43, 44 abstützende, räumlich verteilt angeordnete Lagerstellen trägt, die in den Figuren nicht weiter angedeutet sind. Diese Lagerstellen, von denen zwei im axialen Abstand einander jeweils paarweise gegenüberliegend mit den beiden oberen Führungsbahnen 43 zusammenwirken, werden durch eine mit der unteren Führungsbahn 44 zusammenwirkende fünfte Lagerstelle ergänzt, so daß wiederum ähnlich wie bei den beiden anderen Verschiebeschlitzen 18, 37 eine Fesselung in Bezug auf fünf Freiheitsgrade zustande kommt, wobei die Fesselung bezüglich des sechsten Freiheitsgrades wiederum durch die Stelleinrichtung erfolgt.

Die zur Längsverschiebung der drei Verschiebeschlitzen 18, 30, 37 in ihren jeweiligen Führungen (9, 10; 28, 29; 43, 44) dienenden Stelleinrichtungen sind jeweils in Gestalt von Kugelrollspindeltrieben ausgebildet:

Für den ersten Verschiebeschlitzen 18 ist dazu eine parallel zu der oberen Führungsschiene 9 ausgerichtete, in Lagerböcken 45 (Fig. 1, 3) auf Konsolen 46 an der Rückseite des Maschinenbettes 1 drehbar gelagerte Gewindespindel 47 vorgesehen, die über einen Elektrostellmotor 48 angetrieben ist und mit einer in der Säule 19 befestigten Spindelmutter 49 (Fig. 3) zusammenwirkt. Die Spindelmutter 49 ist nahe des Massenschwerpunktes des aus den drei Verschiebeschlitzen, einschließlich des Auslegers 38 gebildeten Systems angeordnet, um auftretende Kipp- oder Verdrehkräfte für den ersten Verschiebeschlitzen 18 auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Verstellung des zweiten Verschiebeschlitzen 30 erfolgt über eine vertikale, parallel zu den Führungsleisten 28, 29 ausgerichtete an der vorderen Breitseite der Säule 19 drehbar gelagerte Gewindespindel 50, die einseitig bei 51 in einem Lagerteil an der Säule 19 und andererseits in einem den Elektrostellmotor enthaltenden Antriebsgehäuse 52 (Fig. 3) drehbar gelagert ist, das an der Säule 19 befestigt ist. Die Kopplung mit dem zweiten Verschiebeschlitzen 30 erfolgt über eine in der Basisplatte 31 vorgesehene Spindelmutter, die in den Zeichnungen nicht weiter dargestellt ist.

Zur Verstellung des dritten Verschiebeschlitzen 37 dient eine in Fig. 1 bei 53 angedeutete auf dem Führungsteil 42 parallel zu den Führungsleisten 43 ausgerichtete angeordnete Gewindespindel, die mit einer in dem Gehäuse 45 vorhandenen, in der Zeichnung nicht weiter dargestellten Spindelmutter zusammenwirkt. Ihre einseitig vorgesehene Lager- und Antriebseinheit mit dem Elektrostellmotor ist bei 54 (Fig. 1) angedeutet; ihr zugeordnetes Lager am anderen Spindelende ist nicht weiter veranschaulicht.

Sowohl bei dem zweiten Verschiebeschlitzen 30 als auch bei dem dritten Verschiebeschlitzen 37 ist die Lage der mit der Gewindespindel 50 bzw. 53 zusammenwirkenden Spindelmutter bezüglich des Massenschwerpunktes des bewegten Teiles (30; 37) so gewählt, daß sie möglichst mit dessen Massenschwerpunkt zusammenfällt, so daß sich minimale Dreh- oder Kippkräfte ergeben.

Aus der vorstehenden Beschreibung der Formmeßmaschine ergibt sich, daß deren drei Verschiebeschlitzen 18, 30, 37 mit extrem geringer träger Masse gehäuseartig aus leichtgewichtigen Konstruktionselementen aufgebaut sind. Sie sind in Leichtbauweise unter weitgehender Verwendung von kohlenstoffaserverstärkten miteinander verklebten Platten und Streben zusammengefügt, so daß sich eine hohe Formbeständigkeit nicht nur mit Rücksicht auf das Langzeitverhalten sondern auch unter wechselnden Temperatureinflüssen ergibt.

Die Formgestaltung der Konstruktion dieser einzelnen Elemente ist im Hinblick auf eine Optimierung der Steifigkeit ausgelegt.

Gleichzeitig sind die Führungsschienen bzw. -leisten 9, 10; 28, 29 und 43, 44 so angeordnet und ausgebildet, daß die von ihnen geschaffenen Führungen sich durch Langzeitstabilität und geringe Temperatureinflüsse auszeichnen und die bei der Bewegung der auf ihnen geführten bewegten Teile oder Schlitten auftretenden Transportkräfte (Beschleunigungskräfte etc.) einschließlich des Gewichtes einwandfrei aufgenommen werden. Die Führungsleisten und -schienen sind verhältnismäßig einfache Konstruktionselemente, die nur begrenzten Genauigkeitsanforderungen zu genügen brauchen. Sie bilden gemeinsam ein jeweils durch die Verschiebeschlitzen 18, 30, 37 verkettetes Transportsystem, das ausschließlich die Aufgabe hat, die bei der Verstellung der Verschiebeschlitzen längs der ihnen jeweils zugeordneten Koordinatenachse Y, Z bzw. R auftretenden Transportkräfte, einschließlich des Gewichtes, aufzunehmen; es ist deshalb im Hinblick auf die optimale Lösung dieser Aufgabe ausgelegt, wobei an die Führungsgenauigkeit der Führungen keine übermäßigen Anforderungen gestellt werden.

Um bei der Verstellung der Verschiebeschlitzen 18, 30, 37 längs ihrer Führungen auftretende Bahn- oder Positionierfehler zu erfassen und auszugleichen bzw. im Meßergebnis zu berücksichtigen, sind besondere Maßnahmen getroffen:

Das Führungssystem für die Verschiebeschlitzen 18, 30 und 37 ist in das im vorstehenden beschriebene "Transportsystem" und ein eigenes "Bezugssystem" aufgeteilt, das im wesentlichen unabhängig von dem Transportsystem des Führungssystems ist. Das Bezugssystem, dessen grundsätzlicher Aufbau insbesondere aus Fig. 4 zu ersehen ist, stellt die Präzision der Führung und deren Lage in Bezug auf andere Achsen sicher. Es ist selbst keinen größeren Kräften ausgesetzt und so beschaffen, daß seine Geometrie langzeitstabil und wenig temperaturabhängig ist. Demgemäß braucht das eigentliche Transportsystem, wie bereits erläutert, nur geringere Anforderungen bezüglich seiner Führungseigenschaften zu erfüllen, d. h. es kann beispielsweise ohne Justagelemente steif aufgebaut werden, während die eigentlichen Führungselemente 9, 10; 28, 29; 43, 44 kostengünstig ausgeführt und angeordnet werden können.

Das Bezugssystem besteht, wie insbesondere aus Fig. 4 zu entnehmen, aus drei Bezugselementen in Gestalt von geradlinigen Normalen 55, 56, 57, die jeweils von im Querschnitt rechteckigen Profilschienen gebildet sind, welche wenigstens auf zwei einander benachbarten Seitenflächen genau gerade Abtastbahnen 55a, 55b, 55c bzw. 56a, 56b, 56c bzw. 57a, 57b, 57c tragen. Diese prismatischen Körper können auch in Form von Linealen massiv oder, wie dargestellt, als Hohlkörper ausgebildet sein. Ihr Material und ihre Profilstadt sind so gewählt, daß sie langzeitstabil und wenig temperaturabhängig sind.

Die drei Normale 55, 56, 57 sind jeweils entsprechend den Bahn- oder Koordinatenachsen Y, Z, R ausgerichtet. Sie stehen somit rechtwinklig aufeinander, wobei die einander benachbarten Normale 55, 56 und 56, 57 an zwei Kopplungsstellen bei 58 bzw. bei 59 miteinander gekoppelt oder verkettet sind. An diesen Kopplungsstellen 58, 59 sind Meßeinrichtungen vorgesehen, die an den Kopplungsstellen 58, 59 auftretende Relativbewegungen der Normale 55, 56 bzw. 57, 56 zueinander der Größe und Richtung nach erfassen und für diese Meß-

werte kennzeichnende Meßwertsignale erzeugen, die einem bei 60 angedeuteten Rechner zugeführt werden.

Zu diesem Zwecke sind die beiden Normale 56, 57 der Z- und der R-Achse endseitig jeweils mit einem steifen formstabilen Winkelelement 61 bzw. 62 starr verbunden, das die jeweilige Meßeinrichtung trägt die im folgenden noch beschrieben werden wird. Das Winkelelement 61 ist stumpf an die untere Stirnseite des Z-Normals 56 angesetzt; es übergreift mit seinen beiden Schenkeln die die Führungsbahn 55a und die die Führungsbahnen 55b, 55c tragenden aneinander anschließenden Seiten des prismatischen Normals 55, dessen rechteckiger Querschnittsgehalt es angepaßt ist und bezüglich dessen es in der Y-Richtung verfahrbar ist, wie dies durch einen Pfeil 63 angedeutet ist.

An dem anderen Winkelstück 62 ist das horizontale R-Normal 57 einendseitig starr befestigt. Das im Querschnitt im wesentlichen L-förmige Winkelelement 62 trägt wiederum die zugeordnete Meßeinrichtung; es übergreift die die Bezugsbahn 56a und die die Bezugsbahnen 56b, c tragenden beiden benachbarten Seiten des Z-Normals 56 und ist in der Z-Richtung gemeinsam mit dem R-Normal 57 in Richtung eines Pfeiles 64 verfahrbar.

Auf dem R-Normal 57, schließlich, ist ein drittes, ebenfalls formstabil und im Querschnitt L-förmiges Winkelelement 65 in der durch einen Pfeil 66 angedeuteten Richtung verfahrbar angeordnet, das ebenfalls eine der noch zu erläuternden Meßeinrichtungen trägt und mit dem R-Schlitten 37 starr verbunden ist.

Die an den Winkelelementen 61, 62, 65 jeweils angeordnete Meßeinrichtung besteht aus fünf räumlich verteilt angeordneten Meßtaster 61a bis e bzw. 62a bis e bzw. 65a bis e. Diese Meßtaster sind als Längenmeßtaster ausgebildet; sie können berührungslos oder berührend arbeiten und wirken mit der ihnen jeweils zugeordneten Bezugsoberfläche 55a bis e bzw. 56a bis e bzw. 57a bis e zusammen, die sie derart abtasten, daß an der durch sie definierten jeweiligen Meßstelle der örtliche Abstand des Winkelelementes 61; 62 bzw. 65 von der jeweils zugeordneten Bezugsbahn oder Abtastbahn des zugehörigen Normals 55, 56 bzw. 57 festgestellt wird. Die Meßtaster können, wie in Fig. 5 dargestellt, als kapazitive oder aber auch als induktive Meßtaster ausgebildet sein, um nur zwei Beispiele zu erwähnen.

Das Meßprinzip sei anhand der Kopplungsstelle 58 erläutert:

Die beiden Meßtaster 61a, b liegen auf einer Linie und tasten die obere Bezugsbahn 55a des Y-Normals 55 ab. Sie erfassen deshalb alle translatorischen Relativbewegungen des Z-Normals 56 in der Z-Richtung bezüglich des Y-Normals 55, ebenso wie alle Kippbewegungen des Z-Normals 56 um eine zu der R-Achse parallele Achse.

Die benachbarten beiden Meßtaster 61c, d tasten die an die stirnseitige Bezugsbahn 55a auf der Breitseite anschließende Bezugsbahn 55b des Y-Normals 55 ab und erfassen somit alle translatorischen Relativbewegungen des Z-Normals 56 bezüglich des Y-Normals 55 in der R-Achse, ebenso wie etwaige Drehbewegungen des Z-Normals 56 um die Z-Achse.

Der fünfte Meßtaster 61e, schließlich, ist in Z-Richtung gegen die beiden auf der gleichen Seite wirkenden Meßtaster 61c, d versetzt und tastet die im Abstand von der Bezugsbahn 55b auf der gleichen Seite des Y-Normals 55 liegende untere Bezugsbahn 55c ab. Er erfäßt alle Dreh- oder Kippbewegungen des Z-Normals 56 um die Y-Achse.

Damit werden durch die fünf Meßtaster 61a bis e räumlich alle Abweichungen der Ausrichtung der durch das Z-Normal 56 verkörpert Z-Achse, bezogen auf die durch das Y-Normal 55 verkörperte Ausrichtung der Y-Achse erfaßt.

In entsprechender Weise erfassen die Meßtaster 62a bis e des zweiten Winkelstückes 62 alle Abweichungen der Ausrichtung der durch das R-Normal 57 definierten R-Achse, von der durch das Z-Normal 56 definierten Z-Achse, während von den Meßtastern 65a bis e an dem Winkelelement 65 alle Abweichungen der Ausrichtung des dritten Verschiebeschlittens, d. h. des R-Schlittens 37 von der durch das R-Normal 57 definierten R-Achse erfaßt werden.

Die Normale 55, 56, 57 der drei Achsen Y, Z und R stehen somit über die Meßtaster 61a bis e; 62a bis e gegenseitig in Eingriff, so daß sämtliche Abweichungen erfaßt und von dem Rechner 60 bspw. bei der Bestimmung der Ortskoordinaten des Meßpunktes berücksichtigt werden können. Damit hängt die Führungsqualität des Gesamtsystems nurmehr von der Präzision der einzelnen Normale 55 bis 57 und der leicht zu gewährleistenden Steifigkeit der Verbindung zwischen den Normalen und den Winkelelementen 61, 62 sowie dem dritten Verschiebeschlitten 37 und dem Winkelelement 65 und schließlich von der starren Verbindung zwischen den Normalen 56, 57 mit dem ersten und dem zweiten Verschiebeschlitten 18 bzw. 30 ab. Diese letztgenannte Verbindung muß einerseits starr, andererseits aber so beschaffen sein, daß von dem Verschiebeschlitten, d. h. dem Transportsystem keine Kräfte auf die Normale, d. h. das Bezugssystem übertragen werden können.

Wie insbesondere aus den Fig. 1 bis 3 zu entnehmen, ist das parallel zur Y-Achse ausgerichtete erste Normal 55 in der rinnenartigen Vertiefung 23 parallel zu und im Abstand vor der oberen Führungsschiene 9 auf dem Maschinenbett 1 gelagert. Dabei ist das Normal 55 auf zwei beabstandeten, im wesentlichen punktförmigen Lagerstellen bei 66, 67 (Fig. 2) aufgelagert, die eine Lagerpfanne bzw. ein Lagerprisma und eine Lagerkugel aufweisen, um das Normal 55 von dem Maschinenbett 1 abgekoppelt zu halten. Seitlich ist das hochkant stehende Normal 55 an einer Lagerstelle 68 (Fig. 2) über einen Lagerbügel 69 so gehalten, daß an dieser Lagerstelle keine Axialkräfte auf das Normal 55 einwirken können. Durch diese Lagerung mit einer Begrenzung in sechs Freiheitsgraden ist gewährleistet, daß sich Formänderungen des Maschinenbettes 1 nicht auf das Normal 55 übertragen können.

Das auf die Z-Achse ausgerichtete vertikale Normal 56 ist in grundsätzlich ähnlicher Weise an der vorderen Stirnseite 21 der Säule 19 so befestigt, daß Formänderungen der Säule 19 nicht auf das Normal 56 übertragen werden können.

Das auf die R-Achse ausgerichtete horizontale Normal 57, schließlich, ist auf auf dem dritten Verschiebeschlitten 30 in der aus Fig. 5 ersichtlichen Weise an zwei beabstandeten punktförmigen Lagerstellen 70, 71 auf dem Basisteil 31 abgestützt, wobei die Lagerstelle 70 ein Lagerprisma 72 und eine darin eingreifende Lagerkugel 73 und die dem Winkelelement 62 benachbarte Lagerstelle 71, eine Lagerpfanne 74 und eine Lagerkugel 75 aufweisen. Das Lagerprisma 72, dessen Achse parallel zu dem Normal 57 ausgerichtet ist und die Lagerpfanne 74 sind auf zwei Konsolen 76 des Basisteils 31 befestigt, während die Lagerkugeln 73, 75 in in Fig. 5 nicht weiter dargestellten Lagerpfannen an der Unterseite des Normalen 57 gehalten sind. Auf diese Weise ist sicherge-

stellt, daß sich Formänderungen des Basisteiles 31 und damit des zweiten Verschleißschlittens 30 nicht auf das Normal 57 übertragen können.

Die beiden Auflagerstellen 66, 67 des Y-Normals 55 auf dem Maschinenbett 1 sind, wie bereits erwähnt, grundsätzlich gleich wie die Auflagerstellen 70, 71 für das R-Normal 57 gestaltet. Gleiches gilt auch für die Ausbildung der seitlichen Halterung bei 68 für das Y-Normal 55 und das R-Normal 57, die anhand, der Fig. 6 kurz für das Y-Normal 55 erläutert werden soll:

In die entsprechende Seitenwand des Normals 55 ist ein aus Stahl bestehender beidseitig parallel geschliffene Lagerflächen 77 tragender Stopfen 78 eingesetzt, der beidseitig zwischen Lagerkugeln 79 festgeklemmt ist, die mit ihren Mittelpunkten auf einer gemeinsamen Achse 80 liegend in Kugelpfannen 81 aufgenommen sind, von denen eine in einem Druckstück 82 und die andere in einem ortsfesten Halter 83 sitzt, der in eine entsprechende Gewindebohrung des Lagerbügels 69 (Fig. 2) eingeschraubt ist. Durch zugeordnete Bohrung 84 in der einen Wand des Normals 55 verlaufende Zuganker 85, die durch Bohrungen 86 in der gegenüberliegenden Wand des Normals 55 zugänglich sind, sind das Druckstück 82 und der Halter 83 gegeneinander verspannt. Dazwischenliegende Druckfedern 87 gewährleisten eine federnde Anpressung der beiden Lagerkugeln 79 an die Lagerflächen 77.

Da sich die federbelasteten Lagerkugeln 79 auf den Lagerflächen 77 frei abrollen können und im übrigen eine genaue punktförmige Halterung des Normals 55 bewirken, können Formänderungen des Maschinenbettes 1 und des Lagerbügels 69 nicht auf das Normal 55 übertragen werden.

Gleiches gilt für die entsprechend gestalteten Halterungen der Normale 56 an der Säule 19 und 57 an dem Basisteil 31.

Das bezüglich des R-Normals 57 verfahrbare Winkелеlement 65 ist starr mit einer Innenwand des Gehäuses 45 des dritten Verschleißschlittens 37 verbunden; es ist kräftefrei, wobei die Verbindung mit dem Gehäuse 45 (Fig. 1) sicherstellt, daß das Winkелеlement 65 alle Bewegungen im Raume des Auslegers 38 und damit des Tasters 39 bezüglich des R-Normals 57 mitmacht.

Auf diese Weise ergibt sich eine kaskadenartige Verkettung des Tasters 39 über die Meßtaster 65a bis e; 62a bis e; 61a bis e und die Normale 57, 56, 55 zu einem Meßkreis, der durch das Maschinenbett 1 und die Werkstückaufnahme in Form des Drehtisches 7 geschlossen ist. Grundsätzlich kann in diesem geschlossenen Meßkreis auch eine Lageabweichung der C-Achse, die zentrisch zu der Bohrung 41 verläuft, in fünf Freiheitsgraden gemessen und berücksichtigt werden. Dazu können in grundsätzlich bereits geschilderter Weise die die C-Achse definierenden Lagerteile über mindestens fünf Meßtaster meßtechnisch erfaßt und auf eines der Normale bezogen werden.

Im Betrieb der Formmeßmaschine werden somit in den den einzelnen Bahnachsen Y, Z, R zugeordneten Führungselementen auftretende räumliche Führungsfehler der Größe und der Richtung nach einwandfrei erfaßt und in Form von entsprechenden Meßwertsignalen dem Rechner 60 zugeleitet, der Signale erzeugt, die entweder dazu benutzt werden, die resultierende Bahn- oder Positionsabweichung des Taststiftes 40 des Tasters 39 in den Ortskoordinaten des Meßergebnisses rechnerisch oder aber durch unmittelbare Beeinflussung der Stellanrichtungen in den einzelnen Achsrichtungen diese Bahnabweichungen mechanisch zu berücksichtigen.

Die Anforderungen an das Bezugssystem bezüglich einer idealen Bahnkurve lassen sich noch dadurch reduzieren, daß die Bezugsbahnen der Normale 55, 56, 57 vor der eigentlichen Messung mit einer idealen Referenzbahn verglichen werden. Die dabei festgestellten Abweichungen werden in dem Rechner 60 als Datensatz dauernd gespeichert und bei den zukünftigen Messungen berücksichtigt. Die Hauptanforderungen an die einzelne Normale 55, 56, 57 sind dann nicht die Verkörperung einer idealen Bahn, sondern lediglich Langzeitstabilität und Temperaturunabhängigkeit.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur exakten Bestimmung von Raumpunkten bei einer mehrere Bahnachsen aufweisenden Maschine, insbesondere Meßmaschine, die ein Führungssystem mit entsprechend den einzelnen Bahnachsen (Y, Z, R) ausgerichteten länglichen Führungen (9, 10; 28, 29; 43, 44) und auf diesen längsbeweglich gelagerte Schlitten (18, 30, 37) aufweist von denen wenigstens einer zur Aufnahme eines längs einer vorbestimmten Bahn im Raum zu bewegendes Teiles (40) eingerichtet ist mit auf einzelne Bahnachsen ausgerichteten länglichen Bezugselementen (55, 56, 57), die durch ihnen benachbarte Meßtaster (61a bis e; 62a bis e; 65a bis e) abtastbar sind, welche bei Bewegung des jeweiligen Schlittens längs seiner Führung auftretende Bahnabweichungen feststellen und für die erfaßten Meßwerte kennzeichnende Meßwertsignale in einen Rechner (60) eingeben, der sie bei der Berechnung von Orts- oder Bahnkoordinaten oder Stellsignalen verarbeitet und wobei das Führungssystem in ein mehrachsiges Transportsystem für die Schlitten (18, 30, 37) und ein entsprechendes mehrachsiges Bezugssystem aufgeteilt ist, von denen das Transportsystem aus die Schlitten (18, 30, 37) tragenden Führungselementen besteht und lediglich zur Aufnahme der bei der Bewegung der Schlitten auftretenden Transport- und Gewichtskräfte ausgelegt ist und das Bezugssystem aus den Bezugselementen (55, 56, 57) besteht, die im wesentlichen frei von äußeren Kräfteinwirkungen gelagert und an Kopplungsstellen (58, 59) miteinander gekoppelt sind, wobei an den Kopplungsstellen zwischen benachbarten Bezugselementen (55, 56; 56, 57) zwischen benachbarten Bezugselementen auftretende Relativbewegungen feststellende Meßtaster (61a bis e; 62a bis e) angeordnet sind, die für die Größe und Richtung solcher Relativbewegungen an den Kopplungsstellen kennzeichnende Meßwertsignale erzeugen, die dem Rechner (60) zugeführt werden und in diesem verarbeitet werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugselemente maßgenaue Normale (55, 56, 57) aufweisen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Normale (55, 56, 57) als Profilschienen oder -lineale ausgebildet sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugselemente (55, 56, 57) der einzelnen Bahnachsen (Y, Z, R) endseitig starr mit ihnen verbundene Winkелеlemente (61, 62) tragen, an denen die Meßtaster (61a bis e; 62a bis e) sitzen und die jeweils ein benachbartes Bezugselement an der Kopplungs-

- stelle (58, 59) übergreifend angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Schlitten (37) mit einem ein zugeordnetes Bezugselement (57) übergreifend angeordneten Winkelelement (65) 5 starr verbunden ist, an dem Meßtaster (65a bis c) angeordnet sind, die die Bahnabweichung des Schlittens (37) bezüglich des Bezugselementes (47) der Größe und Richtung nach feststellen und entsprechende Meßwertsignale in den Rechner (60) 10 eingeben.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an den Kopplungsstellen (58, 59) zumindest fünf Meßtaster (61a bis 61c; 62a bis 62c) räumlich verteilt derart 15 angeordnet sind, daß durch sie alle von der jeweiligen Bahnachse abweichenden Relativbewegungen zwischen den beiden Bezugselementen (55, 56; 57, 56) der Größe und Richtung nach erfaßbar sind.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden 20 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an den Bezugselementen (55, 56, 57) räumlich voneinander getrennte Bezugsbahnen (53a bis c; 56a bis c; 57a bis c) zur Abtastung durch die Meßtaster angeordnet sind.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden 25 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über Meßtaster miteinander gekoppelte Bezugselemente (56, 57) des Bezugssystems mit Schlitten (18, 30) starr verbunden sind und daß ein Bezugselement 30 (55) des Bezugssystems starr mit einem Maschinenbett (1) verbunden ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das jeweilige Bezugselement (55, 56, 57) an dem jeweiligen Schlitten oder dem Maschinenbett an diskreten Aufhängestellen derart aufgehängt ist, daß es im wesentlichen frei von äußeren 35 Krafteinwirkungen ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Bezugselement (55, 56, 57) mit 40 einer Begrenzung in 6 Freiheitsgraden aufgehängt ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Bezugselement (55, 56, 57) an zwei Stellen (bspw. 66, 67) im wesentlichen punkt- 45 weise unterstützt und an einer dritten Stelle (68) seitlich abgestützt ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einer Aufhängestelle (71; 70) ein Kugel/Pfannen- oder 50 Prismenlager (75, 74; 73, 72) angeordnet ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einer Abstütz- oder Aufhängestelle das Bezugselement (55, 56, 57) zwischen zwei elastisch vorgespannten 55 und sich auf ebenen Lagerflächen (77) abstützen den Lagerkugeln (79) axial beweglich gehaltert ist.
14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Bezugssystem eine Einrichtung eines zu vermes- 60 senden oder zu bearbeitenden Werkstücks über Meßtaster gekoppelt ist, die für die Abweichung wenigstens einer Werkstückaufnahmeachse (C) von zumindest einem Normal des Bezugssystems kennzeichnende Meßwertsignale in den Rechner 65 (60) eingeben.

- Leerselte -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

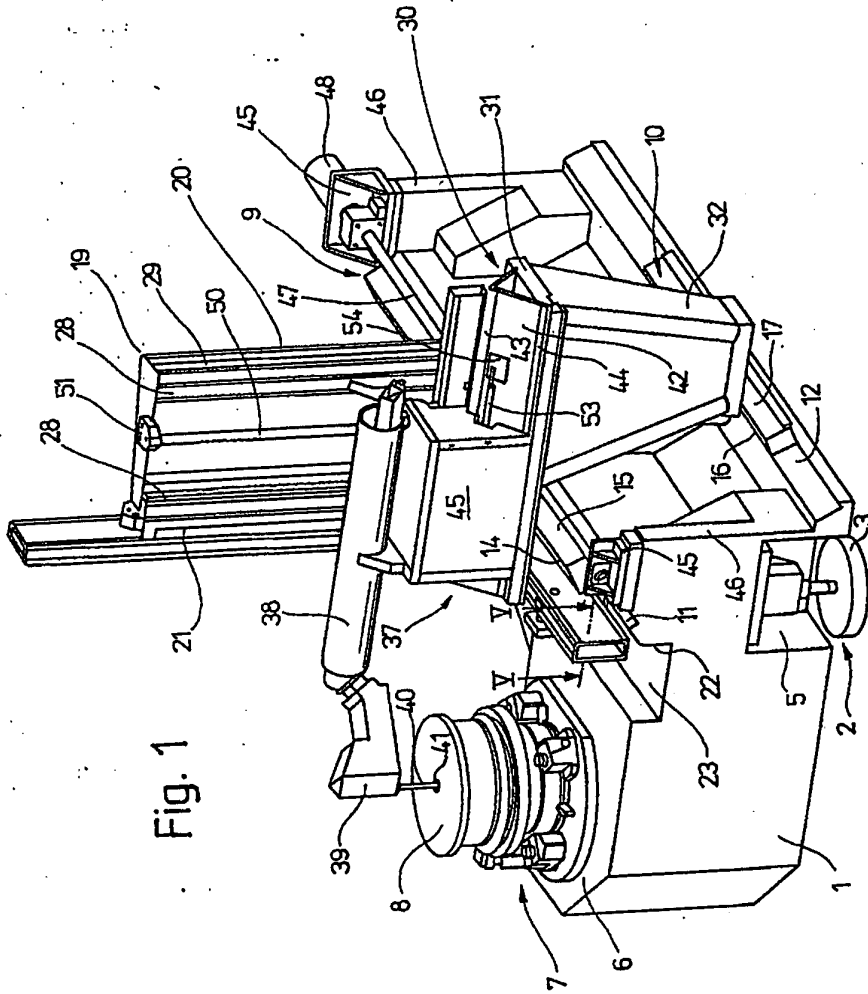
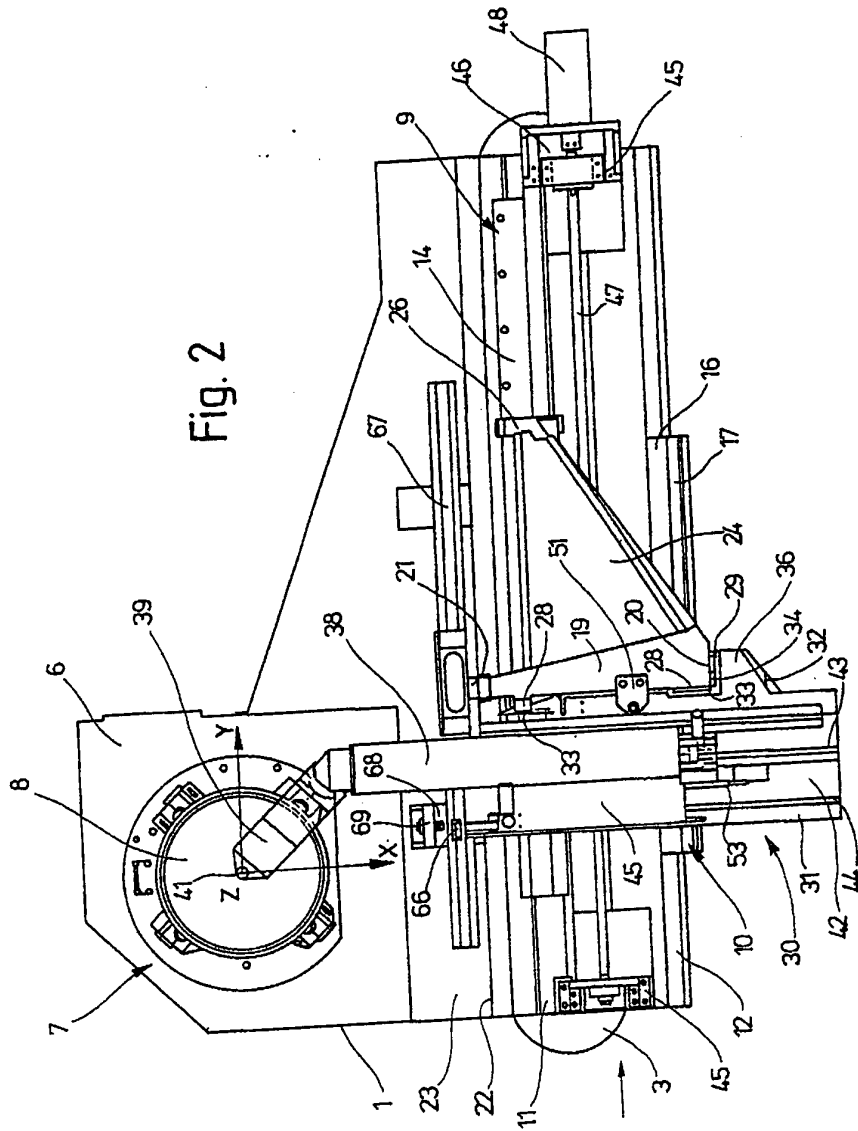
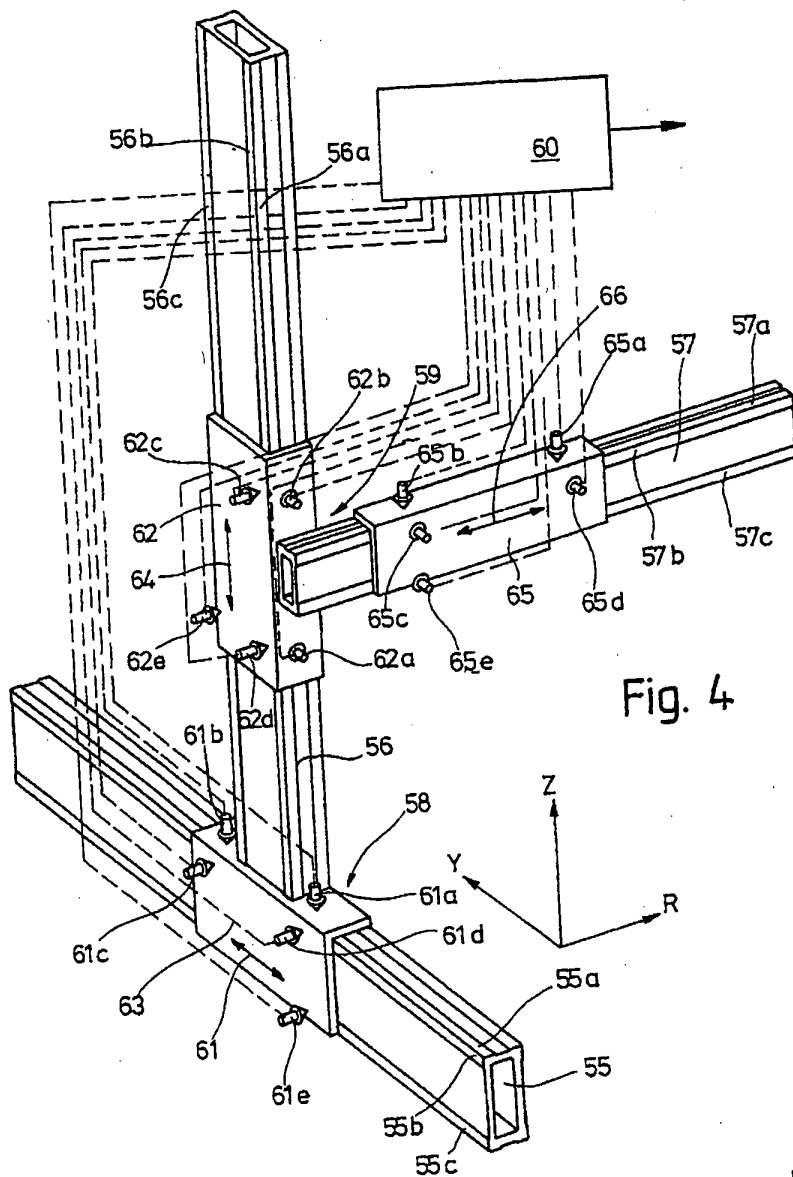
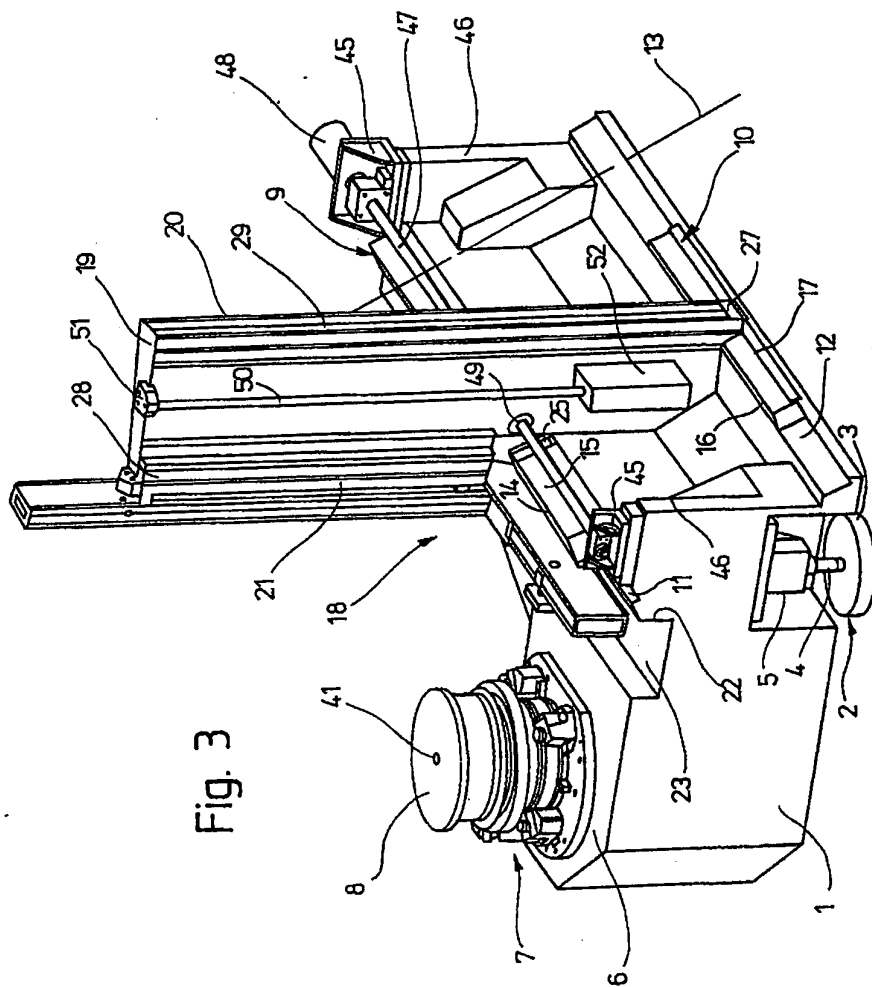


Fig. 1







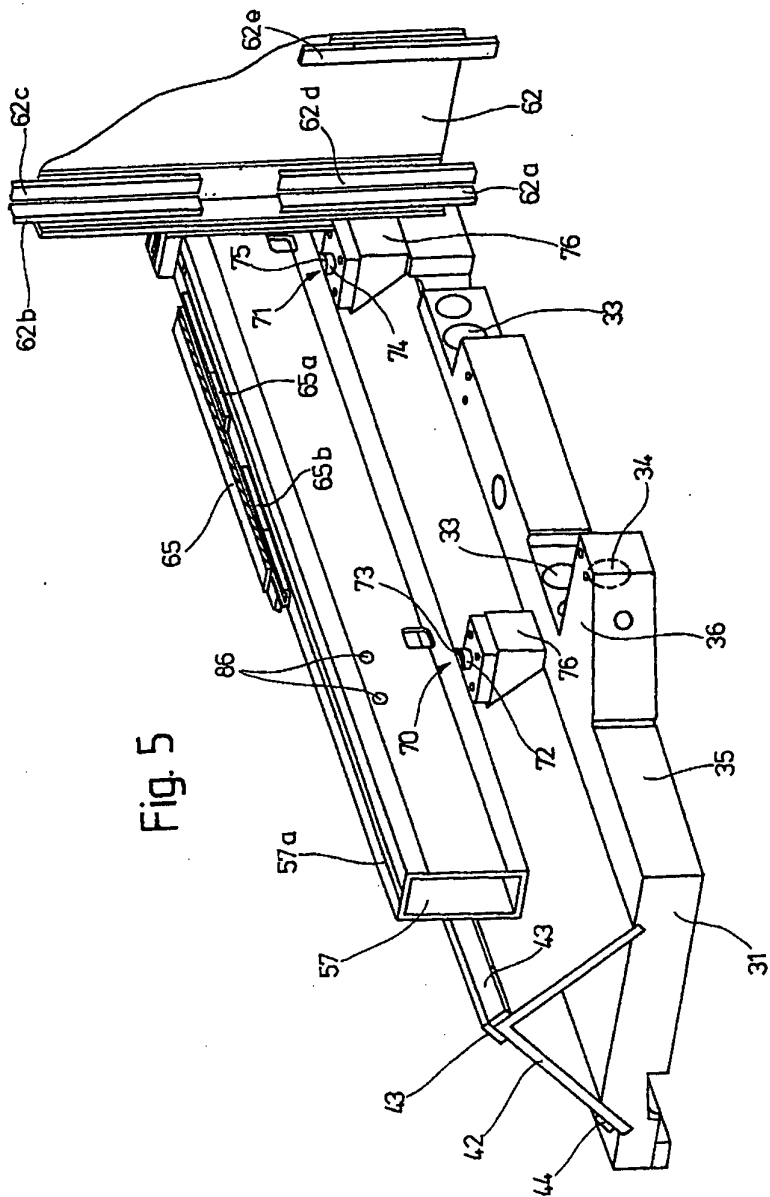
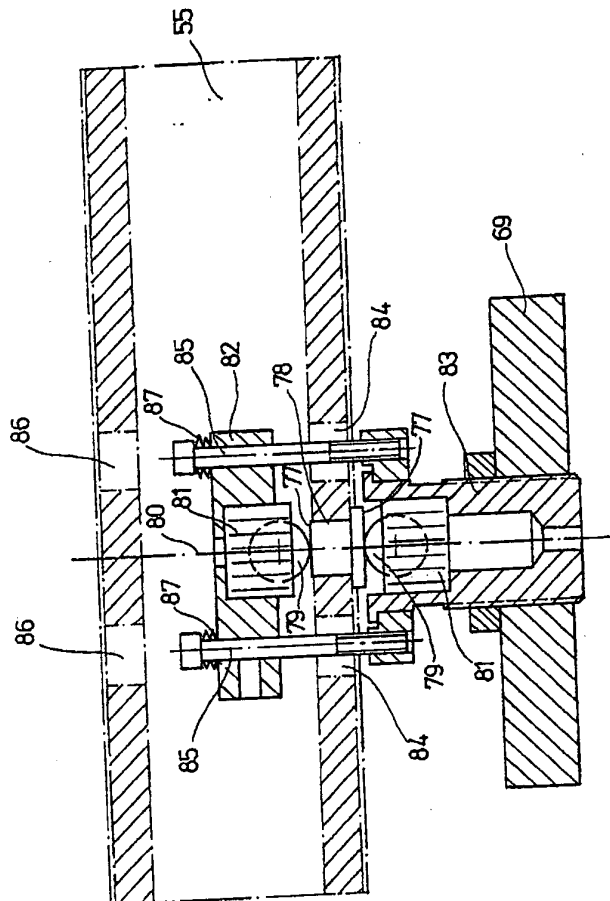


Fig. 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.